

Santeri Heinonen

# Mökin aurinkopaneeli- ja sähköjärjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

09.5.2018

Tekijä Otsikko	Santeri Heinonen Mökin aurinkopaneeli- ja sähköjärjestelmän suunnittelu
Sivumäärä Aika	21 sivua 09.05.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Lehtori Jukka Karppinen
<p>Insinöörityössä perehdyttiin aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun. Työn lähtökohtana oli järjestelmän suunnittelu ja toteutus kesämökille. Aurinkopaneelit suunniteltiin asennettavaksi rantakalliolle, telineille. Tuotettu sähkö syötetään aurinkopaneeleilta akustoon ja siitä invertterin kautta pieneen sähkökeskukseen. Sähkökeskus jakaa sähköä.</p> <p>Työn tavoitteena oli antaa perustiedot sähkösuunnittelijalle aurinkosähköjärjestelmän suunnittelusta. Työssä käydään läpi aurinkosähkön taustalla oleva auringon säteilymäärät, teoria ja suunnittelun perusteet. Työ sisältää esimerkisuunnitelman kesämökin aurinkopaneelijärjestelmästä ja hintavertailun perinteiseen sähköliittymään verrattuna.</p> <p>Työn esimerkisuunnitelmana oli aurinkosähköjärjestelmä, joka suunniteltiin Turun saaristossa sijaitsevalle kesämökille. Järjestelmä piti sisällään aurinkopaneelit, akuston, invertterin, ryhmäkeskuksen, valaisimet ja sähkökalusteet.</p>	
Avainsanat	aurinkopaneeli, kesämökki, aurinkosähkö

Author(s) Title	Santeri Heinonen Vacation home's solar panel system and power grid
Number of Pages Date	21 pages 09 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Jukka Karppinen, Lecturer
<p>This study focuses on photovoltaic system design, particularly on systems built on to vacation cottages. The solarpanels were planned to be installed on mountingbrackets which is located in a cliff. Produced electricity is supplied from the solarpanels to the batteries. From the batteries the electricity is supplied to inverter which converts the voltage to 230v dc. And the inverter supplies switchboard which powers different appliances and lighting.</p> <p>The objective of this work was to cover the basics of photovoltaic system design with the designer in mind. Theory of solar electricity, amounts of solar radiation and design criteria, such as the sizing and placement of panels, are discussed. There is also price comparison between photovoltaic system and traditional electricity grid.</p> <p>An example solar electricity plan is included, where these principles are applied into practice. The photovoltaic plan example was designed for a vacation cottage in Turku archipelago. Cottages electrical grid contains solar panels, battery system, inverter, switchboard, lighting and electrical fittings.</p>	
Keywords	solar panel, vacation cottage, photovoltaic

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinkopaneelijärjestelmän toimintaperiaate	2
3	Asiakkaan vaatimukset	5
3.1	Järjestelmän vaatimukset	6
3.2	Käytettävät sähkölaitteet	6
4	Työn suunnittelu	10
4.1	IP-luokitus	11
4.2	Perusta aurinkosähköjärjestelmälle	13
4.3	Hintavertailu aurinkosähköjärjestelmä vs liittymä	18
5	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

## Lyhenteet

LED      Light-Emitting Diode.

IP      Ingress Protection, suom. 'sisääntunkeutumisen suojaus'

## 1 Johdanto

Insinööritö tehdään yksityishenkilön toimeksiannosta. Työn tavoitteena on toteuttaa kesämökille aurinkosähköjärjestelmä, jolla voidaan käyttää arkisia laitteita. Lisäksi työn tarkoituksena on antaa sähkösuunnittelijalle perustiedot aurinkosähköjärjestelmien teknisistä ratkaisuista ja toteutuksista.

Energiateollisuus on osaltaan sitoutunut EU:n energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteisiin. Tavoitteena on kasvihuonepäästöjen vähennys asteittain, ensin -20 % vuoteen 2020 mennessä ja vähintään -40 % vuoteen 2030 mennessä. Samalla tavoitteena on kasvattaa uusiutuvan energian osuutta loppukulutuksesta 20 % vuoteen 2020 mennessä ja 27 % vuoteen 2030 mennessä. [1.]

Ekologisuus on todettu myös hyväksi tavaksi erottua kilpailijoista markkinoilla. Aurinkoenergia on hyvä vaihtoehto yrityksen julkisuuskuvan kohottamiseen ja ekologisen energian tuottamiseen. Toimistojen, liikerakennuksien, omakotitalojen ja taloyhtiöiden vesikatoilla on usein hyödyntämätöntä tilaa, minkä voisi käyttää hyväksi omalla energiantuotannolla. Hyvä esimerkki hyödynnetystä vesikatosta sijaitsee Helsingin Kivikossa hiihtohallin katolla. Aurinkovoimalaitokseen kuuluu lähes 3000 aurinkopaneelia. Aurinkopaneeli on 285 watin yksikidepaneeli. Parhaimmillaan yksi aurinkopaneeli tuottaa sähköä yli 25 energiasäästölampun verran. Aurinkovoimala tuottaa aurinkoisena kespäivänä noin 6000- kWh. Heleniltä on mahdollista vuokrata oma nimikko aurinkopaneeli kiinteään kuukausihintaan. Tuotettu sähkö hyvitetään sähkölaskusta. Keskimääräinen hyvitys kuukaudessa on noin yksi euro. Kuvassa 1 seuraavalla sivulla on esitetty voimalaitos. [2.]



Kuva 1. Valokuva Kivikon aurinkovoimalaitoksesta.

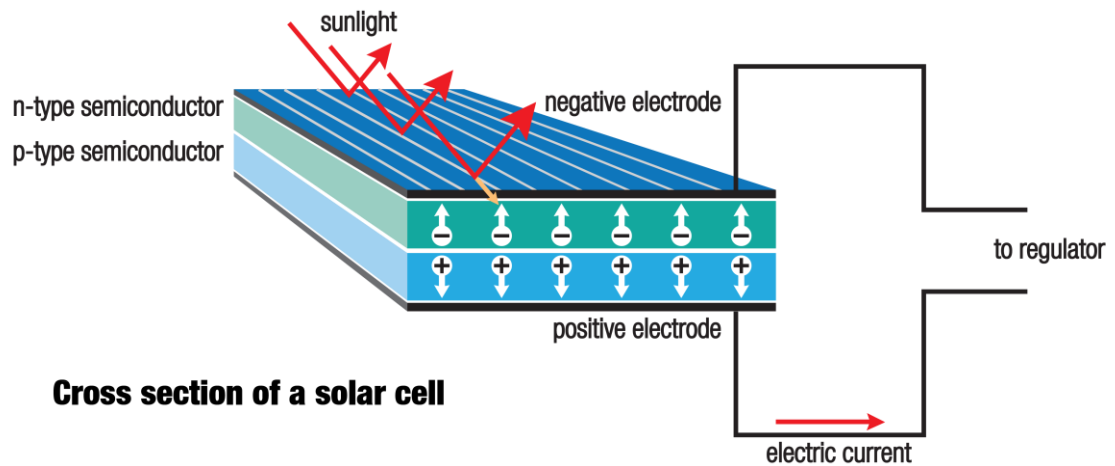
Kuten valokuvasta käy ilmi, vesikaton pinta-ala on hyvin hyödynnetty. Ilman aurinkopaneeleja, vesikattoa ei hyödynnettäisi juuri mitenkään.

## 2 Aurinkopaneelijärjestelmän toimintaperiaate

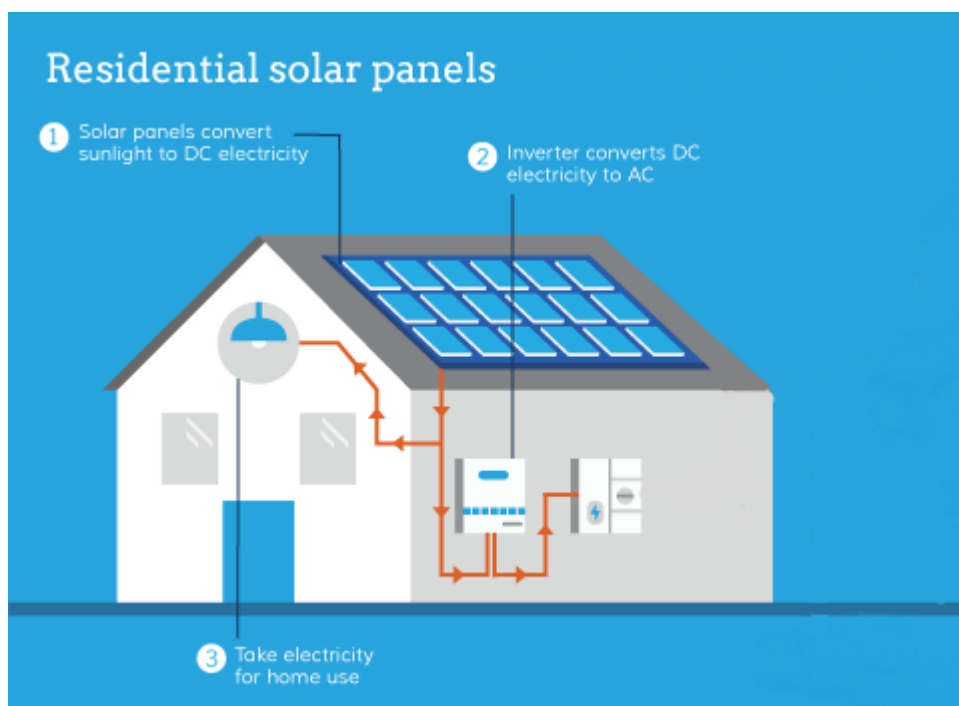
### Sähköntuotto

Aurinkopaneelin sähköntuotto perustuu fysikaaliseen ilmiöön, jota kutsutaan valosähköiseksi ilmiöksi. Ilmiössä on kyse sähkömagneettisen säteilyn ja sähkövarauksen välisestä vuorovaikutuksesta. [3.]

Valosähköisessä ilmiössä puolijohteen elektronit saavat energiaa sähkömagneettisesta säteilystä, ja ne irtautuvat atomytimen vetovoimasta. Fotoni absorboituu atomiin irrottaen elektronin, jolloin fotoni katoaa ja antaa energiansa elektrodille. Auringonsäteilyn fotonien osuessa puolijohteeseen alkaa puolijohteen elektronit värähdellä säteilyn antaessa energiaa. Elektronien saadessa riittävän suuren energian, elektronit hyppäävät puolijohteen valenssivyöltä johtavuusvyölle. Valenssivyölle jää tyhjä paikka, jota kutsutaan aukoksi. Aukko on sähkövaraukseltaan positiivinen, ja se kykenee kuljettamaan sähkövirtaa. [3.]



Kuva 2. Kuvasta käy ilmi valosähköisen ilmiön toimintaperiaate.



Kuva 3. Aurinkopaneelijärjestelmä kokonaisuus.

### Aurinkokenno

Puolijohdemateriaalista valmistettu aurinkokenno on aurinkopaneelin peruskomponentti. Puolijohdemateriaalien ominaisuus on eristävyys normaaliolosuhteissa, kun taas energian osuessa puolijohteeseen se alkaa johtaa sähköä. Energialla tarkoitetaan auringon säteilyä, jonka avulla valosähköinen ilmiö tapahtuu. [4.]



Kennoissa yleisimmin käytetty puolijohdemateriaali on pii, koska se on halpaa ja sitä esiintyy runsaasti luonnossa. Aurinkokennon rakenne on kaksiosainen sisältäen ominaisuuksiltaan kaksi erilaista puolijohdekerrosta: fosforilla seostetun n-tyyppin kerroksen ja boorilla seostetun p-tyyppin kerroksen. Kun n- ja p-tyyppin puolijohteet viedään yhteen, syntyy pn-liitos. Liitoksen n-puolelle muodostuu positiivinen varaus ja p-puolelle negatiivinen varaus. Liitoksen välille jäävälle rajapinnalle muodostuu valosähköisen ilmiön avulla sähkökenttä. [4.]

Aurinkopaneeli koostuu alumiinikehyksestä, lasilevystä sekä aurinkokennoista. [4.]

#### Energiantuoton arviointi

Aurinkopaneelin tuoton arvioinnissa pitää tuntea paikalliset ilmasto-olosuhteet. Sään ja vuodenajan merkitys aurinkopaneelien sähköntuottoon on huomattava. Paikallistuntemuksen avulla pystytään määrittämään järjestelmälle vuotuinen huipunkäyttöaika (th). Huipunkäyttöaika tarkoittaa sitä tuntimäärää, millä järjestelmä tuottaa energiaa vuodenaikana nimellistehollaan. Järjestelmän huippukäyttöaika th määritellään vuotuisen energian tuoton  $W_a$  ja paneeliston nimellistehon  $P_{nim}$  suhteena.

Etelä-Suomessa aurinkoisena kevät- ja kesäpäivänä tuotannon huipunkäytön yläraja on noin 6,5 tuntia, kun taas puolipilvisinä päivinä 4,5 tuntia. Syys- ja talvipäivinä sähköntuotanto nimellisteholla jää 0,15 - 1,1 tuntiin päivässä riippuen auringon näkyvyydestä. Huipun käyttöaika-lukemissa ei ole tässä yhteydessä otettu huomioon tehoelektroniikkakomponenttien häviöitä. Lisäksi paneeliston on oletettu toimivan koko ajan maksimitehopisteessä. Pitkän aikavälin keskiarvoon perustuva vuosituotto Etelä-Suomen nimellistehoisella sähköntuotannolla on noin 920 tuntia. Vuotuiset vaihtelut ovat tavanomaisesti 800 ja 1 000 huippukäyttötunnin välillä. Helppona muistisääntönä voidaan pitää sitä, että 100 Wp:n nimellistehoinen aurinkopaneeli tuottaa Etelä-Suomessa parhaimmillaan noin 100 kWh energiaa vuodessa.

### 3 Asiakkaan vaatimukset

Asiakas tarvitsee aurinkopaneelijärjestelmän mökille, koska mökillä ei tällä hetkellä ole sähköä saatavilla. Mökki on rakennettu vuonna 1991. Mökki sijaitsee Nauvon saaren eteläpuolella, Läntisellä Rockelholman saarella. Mökki on pieni, noin 40 m<sup>2</sup>:n suuruinen. Siinä on pieni keittiö, jonka yhteydessä on myös olohuone ja ruokailutila ja sen lisäksi kolme hyvin pientä huonetta. Mökistä ei ole koskaan tehty pohjapiirustuksia eikä mökistä ole mitattu todellista pinta-alaa. Asiakas tahtoo voivansa käyttää jokapäiväisiä sähkölaitteita ilman, että joutuu aina käynnistämään aggregaatin.



Kuva 4. Ilmakuva mökistä ja kalliosta, johon aurinkopaneelit sijoitetaan.

### 3.1 Järjestelmän vaatimukset

Aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun vaikuttavat monet tekijät, kuten asiakkaan vaatimukset ja ympäristö, mihin aurinkopaneelit sijoitetaan. Jotta saadaan optimaalinen hyöty aurinkopaneelista, pitää suunnittelussa kiinnittää huomiota nimellistehon mitoittamiseen sekä aurinkopaneeleiden sijoittamiseen ja suuntaukseen. Energian varastointi täytyy olla suuri huomion kohde kesämökillä, koska mökissä oleskellaan yöllä ja iltaisin.

Nimellisteho määritettiin laskemalla yhteen valaistuksen käyttämä teho, kodinkoneiden teho ja pistorasioiden hetkellinen kuorma puhelinta ja tietokonetta ladattaessa. Taulukosta 1. käy ilmi vaadittava teho. Laskelman perusteella nimellisteho on 2,7 kW, kun mikroa ja kahvinkeitintä käytetään valaistuksen ollessa täydessä kuormituksessa ja pienlaitteiden ollessa latauksessa. Mökkiin on suunniteltu 10 pistorasiaa.

Taulukko 1. Arvioitu Tehonkulutus maksimikuormituksella.

	Teho	Määrä
Sisävalaistus	15 W	10
Ulkovalaistus	9,5 W	30
Mikro	1000 W	1
Kahvinkeitin	1000 W	1
Pistorasiat	265 W	
Yhteensä	2700 W	

### 3.2 Käytettävät sähkölaitteet

Sähkölaitteita, joita asiakas toivoo voivansa käyttää, ovat keittiön kodinkoneet, kuten mikroaaltouuni, kahvinkeitin, vedenkeitin ja televisio. Siivousvälineistä sähköä käyttää pölynimuri. Mökkiin asennetaan myös valaisimia sekä pistorasioita. Valaisimina käytetään Fagerhultin LED-valaisimia. Yleisimmät käyttölaitteet pistorasioissa tulevat olemaan puhelimien laturit sekä tietokoneen laturi, mutta joskus saatetaan tarvita sähkötyökaluja, jotka vievät hetkellisesti suuren määrän virtaa. Valaisimia sekä pistorasioita asennetaan myös saunarakennukseen. Saunarakennuksen pistorasioiden tarpeet ovat parranajokone sekä hiustenkuivaaja. Ulkohuussiin asennetaan myös

valaisimia. Maastoon sijoitetaan ulkovaloja, jotta ulkona näkee kävellä iltaisin. Sähkölaitteisiin suunnitellaan myös ilmalämpöpumppu, jos aurinkopaneelijärjestelmän sähköntuotanto riittää.

### Valaisimet

Valaisimiksi mökkiin, saunarakennukseen sekä ulkokuusiin valitaan Fagerhultin LED-valaisimet. Fagerhult on tunnettu valaisinvalmistaja, jonka LED-valaisimet ovat ensiluokkaisia. Ruokapöydän valaisimeksi valitaan Fabian. Oleskelutilan keittiön ja makuuhuoneiden valaisimiksi valitaan Diva II Spot. Saunarakennukseen valitaan kaksi Diva II spot valaisinta ja ulkokuusin valaisimeksi valitaan Pozzo-kattovalaisin. Maastoon sijoitetaan 30 kappaletta Azur pollari LED-ulkovalaisimia. Ulkovalaisimet sijoitetaan mökiltä lähtevien polkujen varteen, ulkokuusille, saunarakennukseen ja rantaan.

### Akusto

Aurinkopaneelijärjestelmä tarvitsee tässä kohteessa akuston, jotta sähköä on käytettävissä, kun aurinko ei paista. Akut ovat tyypiltään AGM 12 v 250 Ah. Akusto sijoitetaan mökin sisälle, kauimmaiseen huoneeseen. Akkujen sijoittaminen sisätiloihin lisää akuston elinikää ja helpottaa huoltamista.

Akusto tarvitsee myös lataussäätimen. Lataussäätimeksi valitaan victornin Bluesolar MPPT -lataussäädin 85 A.

### Aurinkopaneelit

Kohteessa käytetään Solarxon-monikideaurinkopaneeleja. Aurinkopaneelin tehoksi valitaan 140 wattia ja paneeleita otetaan kahdeksan kappaletta. Aurinkopaneelit valitaan Akkupoikien valikoimasta saatavilla olevien tuotteiden joukosta. Akkupojat valitaan toimittajaksi tuttavasuhteiden vuoksi.

## Invertteri

Osa käytettävistä sähkölaitteista käyttää 230 V:n jännitettä, joten järjestelmään täytyy sisällyttää myös invertteri. Jos asiakkaan vaatimukset olisivat pelkkä valaistus, järjestelmä voitaisiin toteuttaa ilman invertteriä (12 V:n järjestelmänä). Invertteriksi valitaan Victorin Phoenix 3000 12 V:n invertteri.

## Jännitemittari

Järjestelmään lisätään jännitemittari, jotta työn tilaaja pystyy seuraamaan akkujen kapasiteettia. On tärkeää, että akkuja ei käytetä tyhjiksi, koska ne kärsivät siitä ja niiden elinkaari lyhenee merkittävästi.

## Aggregaatti

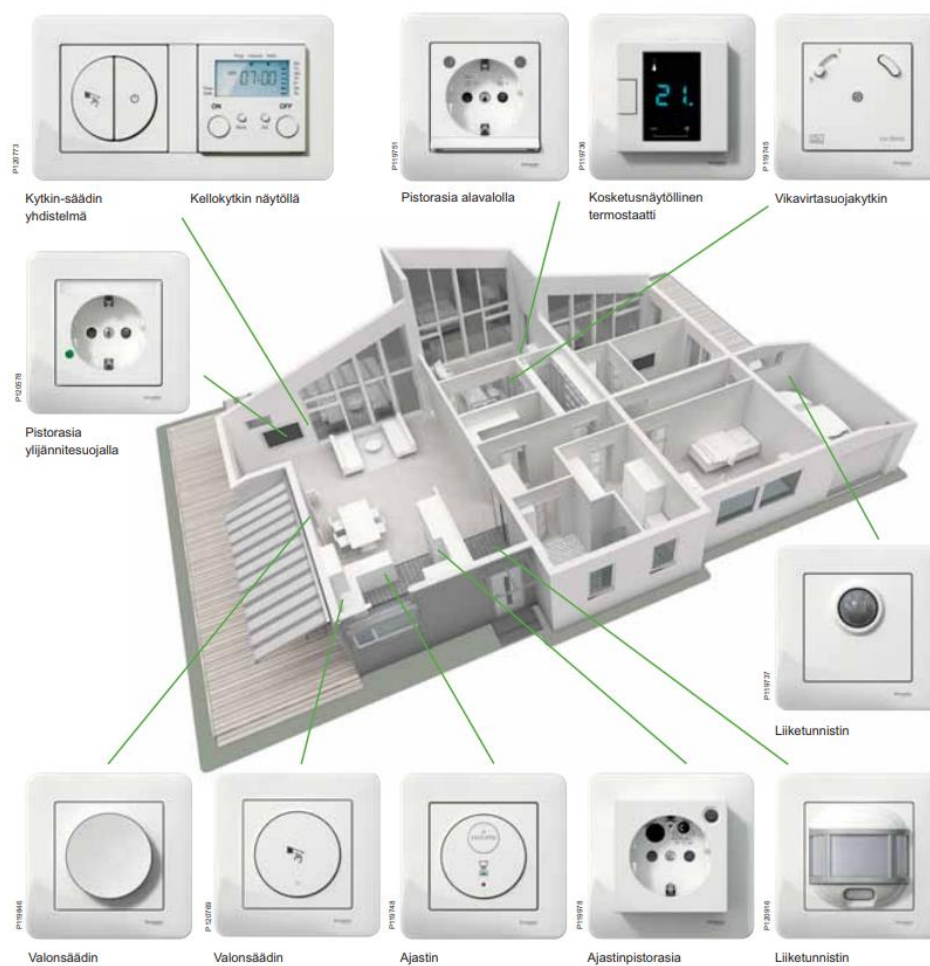
Aurinkosähköprojektissa hyödynnetään olemassa olevaa aggregaattia. Sähkökeskukseen lisätään vaihtokytkin, jolla voi valita käytetäänkö aggregaattia vai aurinkosähkö akkuja. Aggregaatti on tarkoitettu talvisin tai pimeään vuoden aikaan käytettäväksi, kun aurinkoenergiaa ei ole saatavilla.

## Sähkökeskus

Aurinkopaneelijärjestelmän hankinnan myötä mökille täytyy myös lisätä sähkökeskus. Sähkökeskus sijoitetaan sisätiloihin, mikä laskee keskuksen hintaa. Sähkökeskuksena käytetään UTU POINTER 3412. UTU POINTER 3412 on Hagerin valmistama pienikokoinen ryhmäkeskus, josta löytyy myös pääkytkin.

## Sähköasennuskalusteet

Sähköasennuskalusteiksi valitaan Schneiderin Exxact. Exxact on laaja valikoima Pohjoismaihin suunniteltuja kytkimiä ja pistorasioita. Kalusteet ovat helppoja asentaa ja suunnittelijan mielestä silmää miellyttäviä. Kuvassa 5. on esitetty Schneider electricin Exxact-tuoteperhe.



Kuva 5. Exxact-tuoteperhe.



#### 4 Työn suunnittelu

Asiakkaan kesämökki sijaitsee Turun saaristossa saarella. Koska mökki sijaitsee saarella, sähköliittymän liittymiskustannus on huomattava. Aurinkopaneelit sijoitetaan kalliolle, koska se on kaikista avoin alue. Kalliolle asennetaan telineet aurinkopaneeleille ja telineet asennetaan optimaalisella kulmalla. Kuvassa 6. näkyy aurinkopaneelien sijainti ja etäisyys mökistä.



Kuva 6. Paneelien sijainti ympyröity, etäisyys mökistä on noin 20 metriä.

#### 4.1 IP-luokitus

Sähkölaitteita käytetään hyvin erilaisissa olosuhteissa. Mitä vaativampia olosuhteet ovat, sitä tärkeämpää on käyttää juuri niihin soveltuvia, esimerkiksi pölyn tai kosteudenkestäviä sähkölaitteita.

Sähkölaitteiden vedenkestoisuutta arvioidaan kansainvälisellä kotelointiluokituksella eli IP-koodilla (International Protection). IP-luokitus ottaa huomioon vesisuojauksen sekä suojauksen vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä.

Laitteesta voi löytyä esimerkiksi koodi IP 21. Koodin ensimmäinen numero kertoo, miten laite on suojattu vieraiden esineiden ja pölyn osalta. Koodin toinen numero kertoo, miten laite on suojattu vedeltä. Numeroiden jälkeen koodissa voi olla yksi tai kaksi lisäkirjainta, joilla ei tavallisen sähkönkäyttäjän kannalta ole yleensä merkitystä. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä suurempi numero, sitä paremmin laite on tältä osin suojattu. [5.]

Kun esitetään laitteille sijaintipaikkaan liittyviä vaatimuksia, voidaan sanoa esimerkiksi, että ”kotelointiluokan on oltava vähintään IP X4”. Tämä tarkoittaa, että vieraiden esineiden sisäänpääsyn suhteen laitteelle ei aseteta erityisiä vaatimuksia (tai ne vaatimukset vaihtelevat tapauksesta riippuen), mutta vesisuojauksen pitää olla numeroa 4 vastaava. Vastaavasti merkintä IP 4X määrittää vaatimuksen vieraiden esineiden kannalta, mutta jättää asian vesisuojauksen kannalta avoimeksi. [5.]

Ensimmäisellä numerolla ei useinkaan ole tavallisen sähkönkäyttäjän kannalta merkitystä, mutta esimerkiksi teollisuuden sähkölaitteiden osalta voi hyvä pölysuojaus olla hyvin oleellista. [5.]



### Ensimmäinen numero

Laite on suojattu vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsystä seuraavasti [5.]

- 0 Suojaamaton
- 1 Kun esineen halkaisija on yli 50 mm
- 2 Kun esineen halkaisija on yli 12,5 mm
- 3 Kun esineen halkaisija on yli 2,5 mm
- 4 Kun esineen halkaisija on yli 1,0 mm
- 5 Pölysuojattu
- 6 Pölytiivis

### Toinen numero

Laite on suojattu veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta seuraavasti [5.]

- 0 Suojaamaton
- 1 Pystysuoraan tippuvalta vedeltä
- 2 Tippuvalta vedeltä (+/- 15 astetta)
- 3 Satavalta vedeltä (+/- 60 astetta)
- 4 Roiskuvalta vedeltä
- 5 Vesisuihkulta (joka suunnasta)
- 6 Voimakkaalta vesisuihkulta
- 7 Lyhytaikaisesti upotettuna
- 8 Jatkuvasti upotettuna

Seuraavassa on esimerkkejä useimmin esiintyvistä IP-luokituksista:

IP 21 = Suojattu esineeltä, jonka halkaisija on yli 12,5 mm ja pystysuoraan tippuvalta vedeltä

IP 44 = Suojattu esineeltä, jonka halkaisija on yli 1,0 mm ja roiskuvilta vedeltä. [5.]

#### 4.2 Perusta aurinkosähköjärjestelmälle

Aurinkosähköjärjestelmän sähköasennus alkaa aurinkosähköpaneelistä tai joukosta toisiinsa paneelin valmistajan toimittamilla kaapeleilla sarjaan kytkettyjä aurinkosähköpaneeleita ja päättyy käyttäjän sähköasennuksen tai jakeluverkon liittymiskohtaan. Aurinkosähköpaneeliston laitteita valittaessa suuretta  $U_{oc\ MAX}$  ( $U_{oc\ MAX}$  = maksimijännite ilman kuormaa.) on tarkasteltava nimellisjännitteenä. Aurinkosähköpaneeliston laitteita valittaessa suuretta  $I_{sc\ MAX}$  ( $I_{sc\ MAX}$  = maksimi oikosulkuvirta.) on tarkasteltava virtapiirin suunniteltuna virtana. Ulos asennettavien sähkölaitteiden kotelointiluokan on oltava vähintään IP44. Aurinkosähkögeneraattori on valittava ja asennettava siten, että sen kunnossapito sekä huoltotyöt voidaan tehdä turvallisesti sähkölaitteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Kunnossapitohenkilöiden, tarkastajien, sähköverkon huoltohenkilöiden ja pelastusalan henkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi on annettava varoitus, joka ilmoittaa kohteessa sijaitsevasta aurinkosähköjärjestelmästä. Vaihtosuuntaajan huollon ja vaihtamisen mahdollistamiseksi on oltava erotuslaitteet, joilla vaihtosuuntaaja voidaan erottaa tasasähköosasta ja vaihtosähköosasta. [6.]

#### Suojausmenetelmät

Tasasähköosan sähkölaitteita on pidettävä jännitteisenä, vaikka vaihtosähköosa olisi erotettu sähkönjakeluverkosta tai vaihtosuuntaaja olisi erotettu tasasähköosasta. Tasasähköpuolella (vaihtosuuntaajan tasasähköliittimiin saakka) käytettävien sähkölaitteiden ja johtojärjestelmän (esim. liitäntäkeskukset ja kaapelit) on oltava luokan II rakennetta tai niillä on oltava vastaava eristys.

Ylivirtasuojia ei vaadita aurinkosähköpaneelistoissa, joissa on yksi tai kaksi paneeliketjua. Kaikilla rinnakkain kytketyillä paneeliketjuilla on oltava sama mitoitusjännite. Tasasähköosan kaikissa luoksepäästävässä jännitteisiä osia sisältävissä laitteissa, kuten sähkökeskuksissa ja liitäntäkeskuksissa, on oltava pysyvä merkintä, joka ilmoittaa, että erottamisen jälkeen osissa voi olla edelleen jännite esim. tekstillä ”Aurinkosähkö DC. jännitteisissä osissa voi olla jännite erottamisen jälkeen”.

Kaikissa vaihtosuuntaajissa tulisi olla merkintä, joka opastaa, että ennen huoltotoimenpiteitä vaihtosuuntaaja on erotettava sekä tasasähköosasta että vaihtosähköosasta. Aurinkosähkövaihtosuuntaajan tasasähköpuolella on oltava sopiva kuormanerotin tai erottamiseen soveltuva katkaisija.

#### Aurinkopaneelien kaapelointi

Aurinkosähköjärjestelmän kaapelit altistuvat tuulelle, jälle, lämpötilojen muutoksille ja auringon säteilylle, näitä ulkoisia tekijöitä kaapelien tulisi kestää. Hyvin suunnitellulla johtoreitillä, kaapelien huolellisella kiinnityksellä sekä käyttämällä UV-kestoisia ja kaksoiseristettyjä kaapeleita voidaan minimoida kaapelin ulkoiset rasitustekijät. Käyttämällä vaipallisia yksijohdinkaapeleita minimoidaan maa- ja oikosulkuvirtojen vaikutus.

Vaihtosuuntaajien ja pääkeskuksen välinen kaapelointi kannattaa toteuttaa häiriösuojatuilla kaapeleilla. Häiriösuojattu kaapeli vähentää vaihtosuuntaajien mahdollisesti aiheuttamia häiriöitä, jotka voivat aiheuttaa virheitä esimerkiksi aurinkosähköjärjestelmän tuoton mittaamisessa pääkeskuksella. Kaapeloinnin mitoitus tehdään standardin SFS 6000 mukaisesti. Muita vaatimuksia vaihtosähköpuolen kaapeloinnissa ei ole. [7.]

#### Aurinkopaneelien suuntaus

Aurinkopaneelien suuntaus vaikuttaa merkittävästi sähköntuotantoon. Etelä-Suomessa vuotuinen sähköntuotto on parhaimmillaan asennettaessa paneelit suoraan etelään noin 40 asteen kulmaan. Tuotto pienenee etäläsuuntauksesta poikettaessa seuraavasti:

- Kaakko: Aurinkopaneelijärjestelmän tuotto on noin 7 % pienempi kuin suoraan etelään suunnattaessa.
- Lounas: Aurinkopaneelijärjestelmän tuotto on noin 7 % pienempi kuin suoraan etelään suunnattaessa.
- Itä: Aurinkopaneelijärjestelmän tuotto on vajaat 25 % pienempi kuin suoraan etelään suunnattaessa.
- Länsi: Aurinkopaneelijärjestelmän tuotto on vajaat 25 % pienempi kuin suoraan etelään suunnattaessa.
- Koillinen, Luode, Pohjoinen: Aurinkopaneelijärjestelmän asentaminen luoteen ja koillisen väliselle suunnalle on kyseenalaista heikon tuoton vuoksi.

Aurinkopaneeleita suunnattaessa on oltava erityisen tarkka, että aurinkopaneeleihin ei osu varjostuksia. Suurimmat pettymykset aurinkosähkön tuotannossa johtuvat monesti varjostusten aliarvioinnista. Koko alue idästä länteen on syytä katsoa tarkasti läpi. Varjostuksia aiheuttavat muun muassa puut sekä korkeat rakennukset ja muut rakenteet. Suoraan etelän suunnassa olevilla lehtipuilla ei ole suurta merkitystä, jos niiden latvukset eivät varjosta paneeleita touko - syyskuussa. Kevättalvella ja loppusyksystä aurinko on keskipäivällä matalammalla kuin kesällä, mutta silloin etelän suunnassa olevien lehdettömien puiden varjostus on vähäistä.



Kuva 7. Kuva ympäristöstä johon aurinkopaneelit sijoitetaan.

Aurinkopaneelit sijoitetaan kallion laelle. Jotta iltaurinkoa saataisiin hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti, täytyisi ympäröiviä puita kaataa.

#### Aurinkopaneelien sähkötuoton arviointi

Aurinkopaneelijärjestelmien sähköntuotantoa kuukausitasolla voi arvioida Euroopan komission ylläpitämän aurinkosähkölaskurin avulla. Järjestelmän sähköntuotto riippuu paneelien asennuspaikasta ja suuntauksesta, mikä tulee huomioida tuottoa arvioitaessa. Kuvassa 1.

- ed-sarake kuvaa päivittäistä keskimääräistä tuotantoa (kWh).
- em-sarakkeessa keskimääräinen sähköntuotanto koko kuukaudelta (kWh).
- hd-sarakkeesta selviää, kuinka paljon järjestelmä tuottaa sähköä neliometriä kohden. (kWh/m<sup>2</sup>).

- hm-sarakkeessa keskimääräinen sähköntuotanto neliometriä kohden kuukaudessa. (kWh/m<sup>2</sup>).

Tekemälläni laskelmalla sain seuraavat teholaskelman tulokset. (ks. kuva 8).

### Performance of Grid-connected PV

#### PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 59°58'58" North, 22°7'25" East, Elevation: 0 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 1.2 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 6.8% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.0%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 22.2%

Fixed system: inclination=40 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.75	23.2	0.72	22.3
Feb	1.54	43.2	1.51	42.3
Mar	3.76	117	3.79	118
Apr	4.84	145	5.05	151
May	5.82	181	6.30	195
Jun	5.76	173	6.38	191
Jul	5.36	166	6.07	188
Aug	4.87	151	5.44	169
Sep	3.64	109	3.94	118
Oct	2.00	62.1	2.07	64.2
Nov	0.76	22.9	0.77	23.0
Dec	0.58	17.8	0.56	17.4
Year	3.32	101	3.56	108
Total for year		1210		1300

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

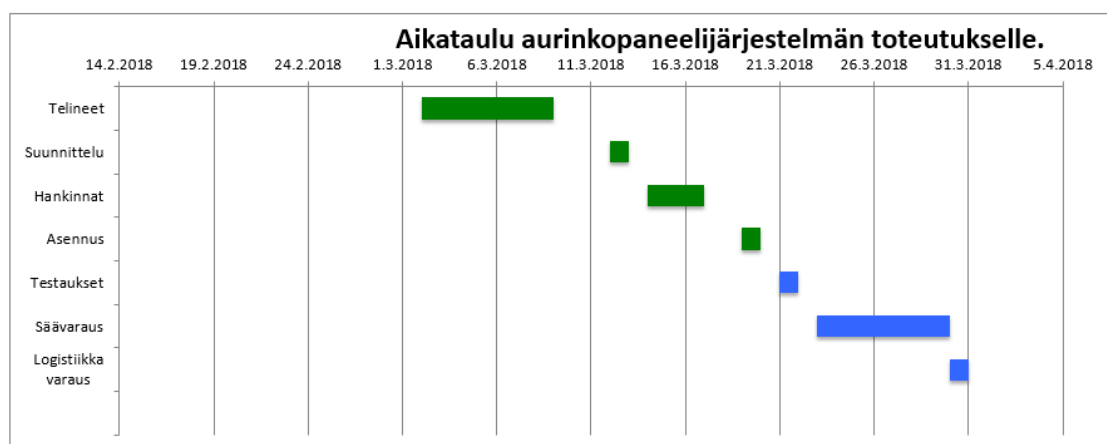
Kuva 8. Suuntaa antava teholaskelma.

Teholaskelmasta käy ilmi, että 1,2 kW:n aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa päivän aikana 0,58 - 5,82 kWh. Teholaskelmien perusteella voidaan mitoittaa tarvittavien aurinkopaneelien lukumäärä, jotta voidaan käyttää haluttuja sähkölaitteita.

## Työn aikataulutus

Taulukossa 2 on esimerkkiaikataulu, jos työt olisi aloitettu maaliskuun ensimmäisenä päivänä. Aikataulussa on pyritty huomioimaan kohteen sijainti ja logistiikka. Aikataulusta on hyvä huomata, että telineiden tekemiseen ja tuotteiden toimitukseen menee suurin osa ajasta. Itse sähköasennuksiin menee vain muutama päivä.

Taulukko 2. Aikataulu järjestelmän toteutukselle.



Työn riskeihin on huomioitu mahdollinen huono sää, joka estäisi työn tekemisen, samoin mahdolliset logistiset ongelmat. Aikataulu on laadittu varsin löyhäksi, eli työn valmistumisessa menisi aloituspäivästä noin kuukausi. Viivästyksiä voi tulla tavarantoimituksen osalta yllättäen, jos jollakin tuotteella on toimitusvaikeuksia, mutta näitä on vaikea arvioida etukäteen.

### 4.3 Hintavertailu aurinkosähköjärjestelmä tavalliseen liittymään verrattuna

Tilaaaja on aiemmin tiedustellut hintaa sähköverkon rakentamiseksi saarelle. Sähköverkon rakentajan hinta-arvio saareen toimitetusta merikaapeliliittymästä oli noin 60000 euroa. Tämä hinta toimi insinööriyön lähtökohtana. Tavoitteena oli toteuttaa koko aurinkosähköjärjestelmä alle tämän hinnan. Hintavertailussa verrataan aurinkopaneeleiden, invertterin, telineiden ja kaapelointien hintaa merikaapeliin nähden. (ks taulukko 3)

Taulukko 3. Hintavertailu merikaapeloinnin ja SLO:n tukkuhintojen välillä.

<b>Fortum</b>		<b>SLO</b>	
Merikaapeli + urakointi	60 000 €	Invertteri + paneelit	4 090 €
		Telineitten asennus kalliolle	3 000 €
		Akusto	700 €
		Kaapelointi	200 €
		Asennustyöt	500 €
		Piirustukset	500 €
		Yhteensä	8 990 €

Hintavertailu tehtiin SLO:n nettitukun hintojen perusteella. SLO on perustettu vuonna 1945. Sotien jälkeen Suomessa oli pulaa myös sähkötarvikkeista, jolloin joukko sähköasennusliikkeitä perusti oman sähkötarvikkeiden keskushankintapisteen, Sähköliikkeiden Oy:n. Näin yhtiön pääomistajiksi tulivat sähköurakoitsijat. Sähköliikkeiden Oy:n nimilyhenteeksi virallistettiin SLO vuonna 1971 ja yhtiön virallisena nimenä se on ollut vuodesta 1990.

SLO:lla on valmiita aurinkosähköpaketteja, joista valitsin 1-vaiheisen 3,24 kW:n aurinkopaneelijärjestelmän. Järjestelmään kuuluu 12 kappaletta 270 W:n paneeleita ja ABB:N PVI 3.0 invertteri. Invertteri on mielestäni laadukas ja kestävä. Telineet täytyy tehdä itse, koska kallio on epätasainen. Telineiden tekoon on varattu 3000 euroa, mikä on mielestäni riittävä hinta. Akusto koostuu kahdesta AGM 12 V 250 Ah – akusta, akun hinta on 350 euroa / kpl. Kaapelointiin on varattu 300 euroa, mikä on riittävä. Kaapelointi toteutetaan aurinkopaneeleiden osalta AJMY-kaapelilla. Kyseistä kaapelia käytetään esim. autojen sähköissä. Sähköasennuksiin on laskettu menevän yksi työpäivä, jonka hinnaksi tulee noin 500 €. Sama pätee myös suunniteluun. Kuten taulukosta 3 huomataan, aurinkopaneelijärjestelmä on huomattavasti edullisempi, joten mökille valitaan asennettavaksi aurinkopaneelijärjestelmä. [9.]



## 5 Yhteenveto

Insinöörityössä selvitettiin aurinkopaneelijärjestelmän kustannukset ja niitä verrattiin kiinteään sähköliittymän rakentamisen kustannuksiin. Työssä tultiin siihen lopputulokseen, että aurinkopaneelijärjestelmän hankinta on tässä tapauksessa hyvä valinta. Kustannukset ovat pienet suhteutettuna kiinteään sähköliittymään, kuukausittaisia maksuja ei tule hankintakulujen jälkeen eikä sähköstä tarvitse maksaa siirtokuluja, sekä sähkönkulutuksesta syntyviä maksuja. Yleisesti ottaen omavaraisuus sähkön tuotannossa on hyvä asia ja järjestelmän on mahdollista maksaa itsensä takaisin laitteiston elinkaaren aikana. Tilaajan mielestä aurinkopaneelijärjestelmän hinta on edullinen verrattuna sähköverkon rakentamiseen. Tilaaja tulee toteuttamaan järjestelmän suunnitellusti.

## Lähteet

1. [https://energia.fi/energiateollisuuden\\_edunvalvonta/energiapolitiikka/eu\\_n\\_2030-tavoitteet](https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/eu_n_2030-tavoitteet)
2. <https://www.helen.fi/aurinko/kodit/aurinkosahko/kivikko/>
3. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Valos%C3%A4hk%C3%B6inen\\_ilmi%C3%B6](https://fi.wikipedia.org/wiki/Valos%C3%A4hk%C3%B6inen_ilmi%C3%B6)
4. [http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page\\_id=173](http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page_id=173)
5. [http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi\\_FI/011015\\_koteloituiluokat/](http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/011015_koteloituiluokat/)
6. <https://www.haywoodemc.com/content/typical-components-photovoltaic-interconnected-system>
7. SFS 6000-7-712:2017
8. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
9. <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/aurinkosahkojarjestelma-gef-3-24-kw-3-vaih-pelti-huopakat-8006432>